

基于遥感生态指数的神东矿区 1995—2020 年生态环境质量的时空变化特征分析

李蕊¹, 陈国清¹, 李玮贤¹, 蒙荣¹, 王明玖², 郭洋楠³

(1.内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2.内蒙古农业大学 草原与资源环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 3.神华神东煤炭集团有限公司技术研究所, 陕西 榆林 719315)

摘要: [目的] 分析神东矿区 1995—2020 年生态环境质量时变化特征, 为改善该区域生态环境提供科学依据。[方法] 基于 1995—2020 年 6 期 Landsat 5 TM 及 Landsat 8 OLI 数据, 利用主成分分析法, 选用干度指标(NDSI)、绿度指标(NDVI)、热度指标(LST)、湿度指标(WET)构建遥感生态指数(RSEI)。运用重分类将 RSEI 分为 5 级, 按照重心迁移方法分析 RSEI I—V 等级的重心迁移情况, 并分析 RSEI 的空间变化规律, 实现利用 RSEI 对神东矿区的生态环境质量的动态监测和评价。[结果] ①神东矿区在 1995—2020 年生态环境状况明显提升, 其中呈上升趋势的面积占矿区总面积的 42.22%, 绿度、干度指标对矿区生态环境质量影响较大。②矿区生态环境质量各级土地利用类型以草地、耕地为主, 且生态环境质量变化受耕地、草地面积变化影响较大。③矿区生态环境质量主要以 II, III 级为主, I 级、II 级和 V 级迁移幅度较大且重心整体向矿区西南、西北方向迁移。[结论] 1995—2020 年神东矿区生态环境质量呈现总体上升态势, 受植被生长情况和人类活动因素影响较大。

关键词: 神东矿区; 遥感生态指数; 生态环境

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)03-0143-09

中图分类号: X835, X826

文献参数: 李蕊, 陈国清, 李玮贤, 等. 基于遥感生态指数的神东矿区 1995—2020 年生态环境质量的时空变化特征分析[J]. 水土保持通报, 2021, 41(3): 143-151. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.03.020; Li Rui, Chen Guoqing, Li Weixian, et al. Spatiotemporal analysis of eco-environmental benefits in Shenfu-Dongsheng mining area during 1995—2020 based on RSEI [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(3): 143-151.

Spatiotemporal Analysis of Eco-environmental Benefits in Shenfu-Dongsheng Mining Area During 1995—2020 Based on RSEI

Li Rui¹, Chen Guoqing¹, Li Weixian¹, Meng Rong¹, Wang Mingjiu², Guo Yangnan³

(1. College of Desert Management, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 2. College of Grassland, Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 3. Technical Research Institute of Shenhua Shendong Coal Group Co., Ltd., Yulin, Shaanxi 719315, China)

Abstract: [Objective] The change characteristics of eco-environmental quality in the Shenfu-Dongsheng mining area during 1995—2020 were analyzed, in order to provide a scientific basis for improving the ecological environment of the region. [Methods] Principle component analysis was used to create the remote sensing ecological index (RSEI) based on dryness index (NDSI), greenness index (NDVI), heat index (LST), and humidity index (WET) obtained from Landsat 5 TM data and Landsat 8 OLI data (1995—2020). RSEI was divided into five grades by reclassification, and the center of gravity migration of RSEI grades I—V was analyzed according to the center of gravity migration method. The spatial change law of RSEI was analyzed in

收稿日期: 2021-01-21

修回日期: 2021-03-30

资助项目: 神东科技创新项目“神东采煤沉陷区治理整地措施技术与效益研究”(CSIEZB170303962); 内蒙古自治区科技重大专项项目“内蒙古典型矿区土壤和植被修复重建及保护关键技术研究”(2020ZD0020-3)

第一作者: 李蕊(1996—), 女(蒙古族), 内蒙古赤峰市人, 硕士研究生, 研究方向为土地资源管理。Email: 513053093@qq.com。

通讯作者: 陈国清(1978—), 男(汉族), 内蒙古呼和浩特市人, 博士, 讲师, 主要从事城乡规划与生态环境等方面的研究。Email: chenguoqing@imau.edu.cn。

order to determine the dynamic monitoring and evaluation of eco-environmental quality of the Shenfu-Dongsheng mining area by using RSEI. [Results] ① The ecological environment of the Shenfu-Dongsheng mining area significantly improved from 1995 to 2020, and the area showing an upward trend accounted for 42.22% of the total area of the mining area. The greenness and dryness indicators had a greater impact on the eco-environmental quality of the mining area. ② Grassland and cultivated land were the main land use types of eco-environmental quality in the mining area, and the change in eco-environmental quality was greatly affected by the change of cultivated land and grassland area. ③ The eco-environmental quality of the mining area was based mainly on grades II and III. The migration ranges of grades I, II, and V were relatively large, and the center of gravity migrated to the southwest and northwest of the mining area. [Conclusion] The eco-environmental quality of the Shenfu-Dongsheng mining area showed an overall upward trend from 1995 to 2020, and this trend was greatly affected by vegetation growth and human activities.

Keywords: Shenfu-Dongsheng mining area; remote sensing ecological index; ecological quality

随着经济全球化的发展,生态环境问题俨然成为全球性关注热点。矿业是中国经济支柱产业,其发展在一定程度上以破坏环境为代价,矿业在取得巨大成就的同时,也对生态环境造成了严重破坏。神东矿区是中国重要的区域生态脆弱带以及国家级水土流失重点监督区和重点治理区,生态环境脆弱,干旱少雨;原植被种类单调,平均植被覆盖率仅 3%~11%,风蚀区面积占总面积的 70%,长此以往,会使本来脆弱的生态环境变得彻底无法修复,面临生态环境恶化的严重制约,不仅经济难以持续发展,还会影响晋陕蒙接壤地区的生态安全。所以深入研究矿区生态环境质量时空变化规律,对于恢复矿区生态功能,提高矿区生态环境质量等具有十分重要的理论价值和现实意义^[1-2]。

2015 年环保部发布了《生态环境状况评价技术规范》(HJ192-2015),提出生态环境状况评价指数(ecological environment index, EI)^[3-4],而构成 EI 指数的各个指标在数据可获取性、权重合理性和评价结果时空分析等方面仍存有弊端^[5]。徐涵秋基于遥感技术提出了遥感生态指数(remote sensing ecology index, RSEI),由绿度、湿度、热度和干度 4 个遥感生态指标构建^[6-7],该指数不仅数据易获得、权重非人为设定,而且具有较强的客观性、评价结果可视化效果好等优点,因此与 EI 指数相比该指数更适用于区域生态环境质量评价。由于矿区生态环境受损的直接体现就是矿区土壤理化性质、土地利用方式、植被的时空变化等,所以对矿区生态环境质量的研究主要集中在矿区生态效应^[8]、生态安全^[9]、承载力等^[10]方面。但是这些研究和规范的目标是揭示矿区生态环境质量的现状及变化,大部分文献评价了生态环境质量包括水环境^[11]、植被环境和土壤环境^[12-13],部分涉及到土地利用景观格局^[14],在神东矿区生态环境质量时空演变规律的研究比较缺乏。本文在 RSEI 指

数的基础上,利用多时相遥感数据综合研究神东矿区生态环境质量变化及发展趋势,同时利用重心迁移法来探究生态环境质量空间变化状况,以期为该研究区的空间变化情况及生态环境建设提供一定的科学依据,也为神东矿区完善生态治理制度体系提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究选取神东矿区(为神府—东胜矿区的简称)作为研究区,位于内蒙古自治区鄂尔多斯东南部和陕西北部交界处,地理坐标在北纬 38°52′—39°41′,东经 109°51′—110°46′。实际研究区坐标为 38°56′—39°49′N, 108°58′—110°25′E。地处西北地区毛乌素沙漠东南边缘与黄土高原北端的过渡地带,西北高,东南低,属典型的干旱、半干旱荒漠高原气候。矿区北部东胜梁呈东西向展布,形成南北向河流的分水岭。东部及东北部为黄土丘陵山区,沟壑纵横,形成梁峁、沟壑和土原 3 种地貌。

1.2 数据来源及预处理

本文所用的数据为神东矿区(行列号 127, 33) 1995—2020 年的 Landsat 5 TM 和 Landsat 8 OLI 遥感影像,数据通过“美国地质调查局 USGS”(http://glovis.usgs.gov/)进行免费数据的获取。其中包括 1995, 2000, 2005, 2010 年的 Landsat 5 TM 与 2015, 2020 年的 Landsat 8 OLI 共 6 期的遥感影像数据,采用的遥感影像的质量较好。由于绿度指标(NDVI)选用的数据为一期影像而非多期求均值,为避免绿度指标过高影响评价指数准确性,且受到数据获取限制,所以选用的时间基本集中在 9—11 月份影像晴空无云。

运用遥感分析软件 ENVI 5.3 对 6 个不同时期的影像进行辐射定标、大气校正等,为满足研究精度

的需要,将均方根误差控制在 0.5 个像元内,最后使用神东矿区的矢量边界对图形进行裁剪。

1.3 研究方法

1.3.1 生态环境质量评价 RSEI 指数是用于综合研究区域生态环境现状的新型遥感生态指数,由湿度指标、绿度指标、热度指标、干度指标组成的,利用主成分分析构建神东矿区遥感生态指数,即:

$$RSEI_0 = 1 - \{PC_1 [f(NDVI, WET, LST, NDSI)]\} \quad (1)$$

$$RSEI = \frac{RSEI_0 - RSEI_{0-\min}}{RSEI_{0-\max} - RSEI_{0-\min}} \quad (2)$$

式中:RSEI 为遥感生态指数;NDVI 为绿度指标;WET 为湿度指标;LST 为热度指标;NDSI 为干度指标;PC₁ 为主成分分析后得到的第一主成分;RSEI₀ 为遥感生态指数初始值;其中 RSEI_{0-\min}, RSEI_{0-\max} 分别代表 RSEI₀ 的最小值、最大值。

(1) 湿度。湿度指标选用遥感缨帽变换的湿度分量,湿度分量对神东矿区的土壤和植被的湿度有较好的反映^[15-16]。Landsat 5 TM 和 Landsat 8 OLI 的湿度计算公式分别为:

$$WET_{TM} = 0.0315 \rho_{blue} + 0.2021 \rho_{green} + 0.3102 \rho_{red} + 0.1594 \rho_{NIR} + 0.6806 \rho_{SWIR1} + 0.6109 \rho_{SWIR2} \quad (3)$$

$$WET_{OLI} = 0.1511 \rho_{blue} + 0.1972 \rho_{green} + 0.3283 \rho_{red} + 0.3407 \rho_{NIR} + 0.7117 \rho_{SWIR1} + 0.4559 \rho_{SWIR2} \quad (4)$$

式中: ρ_{blue} 为蓝波段反射率; ρ_{green} 为绿波段反射率; ρ_{SWIR1} 为短波红外 1 波段反射率; ρ_{SWIR2} 为短波红外 2 波段反射率。

(2) 绿度。绿度指标选用归一化植被指数(NDVI)代替绿度,它主要反映植物生物量、叶面积指数以及植被覆盖度,是使用最广泛的植被指数^[17]。具体表达式为:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red}) \quad (5)$$

式中: ρ_{NIR} , ρ_{Red} 分别为 Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI 的近红外波段和红波段的反射率。

(3) 热度。热度指标选用地表温度代表热度,

$$IBI = \frac{2\rho_{SWIR1} / (\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR}) - [\rho_{NIR} / (\rho_{NIR} + \rho_{Red}) + \rho_{Green} / (\rho_{Green} + \rho_{SWIR1})]}{2\rho_{SWIR1} / (\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR}) + [\rho_{NIR} / (\rho_{NIR} + \rho_{Red}) + \rho_{Green} / (\rho_{Green} + \rho_{SWIR1})]} \quad (14)$$

式中: ρ_{Blue} , ρ_{Green} , ρ_{Red} , ρ_{NIR} , ρ_{SWIR1} 分别为 Landsat 5 TM 和 Landsat 8 OLI 蓝、绿、红、近红外、短波红外 1 波段的反射率。

1.3.2 RSEI I—V 级重心迁移 重心迁移模型是运用 ArcGIS 平台绘制出不同时期、不同等级的生态环境质量重心坐标,根据重心坐标能够更加直观地反映

Landsat 5 TM 影像主要利用热红外 6 波段辐射定标参数,将像元灰度值转换为传感器处的辐射亮度值,通过 Planck 辐射函数求出包含了大气影响的像元温度亮度,进而通过比辐射率转换为地表温度^[5,18],提取公式如下:

$$L_6 = gain \cdot DN + bias \quad (6)$$

$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_6} + 1\right)} \quad (7)$$

$$T_s = T_b / [1 + (\lambda T_b / \alpha) \ln \epsilon_6] \quad (8)$$

式中:gain 和 bias 分别是 Landsat 5 TM 第 6 波段的增益和偏置值; K_1 和 K_2 为定标参数: $K_1 = 607.76 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$, $K_2 = 1260.56 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$;中心波长 $\lambda = 11.48 \mu\text{m}$, α 取 $1.438 \times 10^{-2} \text{ mK}$ 。DN 为像元灰度值。

Landsat 8 OLI 影像主要利用热红外 10 波段进行辐射定标,得到热红外波段的辐射亮度值,最后通过普朗克定律反函数求得 T_s , 其表达式为:

$$L_{10} = \tau_{10} [\epsilon_{10} B_{10}(T_s) + (1 - \epsilon_{10}) I_{10}^{\downarrow}] + I_{10}^{\uparrow} \quad (9)$$

$$B_{10}(T_s) = \frac{(L_{10} - I_{10}^{\uparrow} - \tau_{10}(1 - \epsilon_{10})I_{10}^{\downarrow})}{\tau_{10}\epsilon_{10}} \quad (10)$$

$$T_s = \frac{C_1}{\lambda_{10} \ln\left\{C_2 / \left[\lambda_{10}^5 \left(L_{10} - I_{10}^{\uparrow} - \frac{\tau_{10}(1 - \epsilon_{10})I_{10}^{\downarrow}}{\tau_{10}\epsilon_{10}}\right) + 1\right]\right\}} \quad (11)$$

式中: I_{10}^{\uparrow} 为大气向上辐射亮度; I_{10}^{\downarrow} 为大气向下辐射亮度; τ_{10} 为大气在热红外波段的透过率; ϵ_{10} 为地表比辐射率; $B_{10}(T_s)$ 是与 T_s 相同温度下的黑体的热辐射亮度; T_s 为地表温度; C_1 和 C_2 为常数; ϵ 为比辐射率^[19]。

(4) 干度。裸土和建筑用地均会造成地表“干化”,因此选用建筑指数(ABI)和裸土指数(SI)构建干度指标,记为 NDSI^[19-20],其计算公式为:

$$NDSI = (SI + ABI) / 2 \quad (12)$$

式中:

$$SI = \frac{(\rho_{SWIR1} + \rho_{Red}) - (\rho_{Blue} + \rho_{NIR})}{(\rho_{SWIR1} + \rho_{Red}) + (\rho_{Blue} + \rho_{NIR})} \quad (13)$$

出每个时期 RSEI 不同等级的迁移方向、迁移的距离等空间动态变化规律。为了分析 1995—2020 年神东矿区不同等级的 RSEI 空间变化情况,运用 ArcGIS 10.4 中的工具将 5 个等级进行处理,再分别计算 6 期的 5 个等级的重心,最后绘制重心移动路径图。重心坐标的运算方式如下:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ti} X_i}{\sum_{i=1}^n C_{ti}} \quad (15)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ti} Y_i}{\sum_{i=1}^n C_{ti}} \quad (16)$$

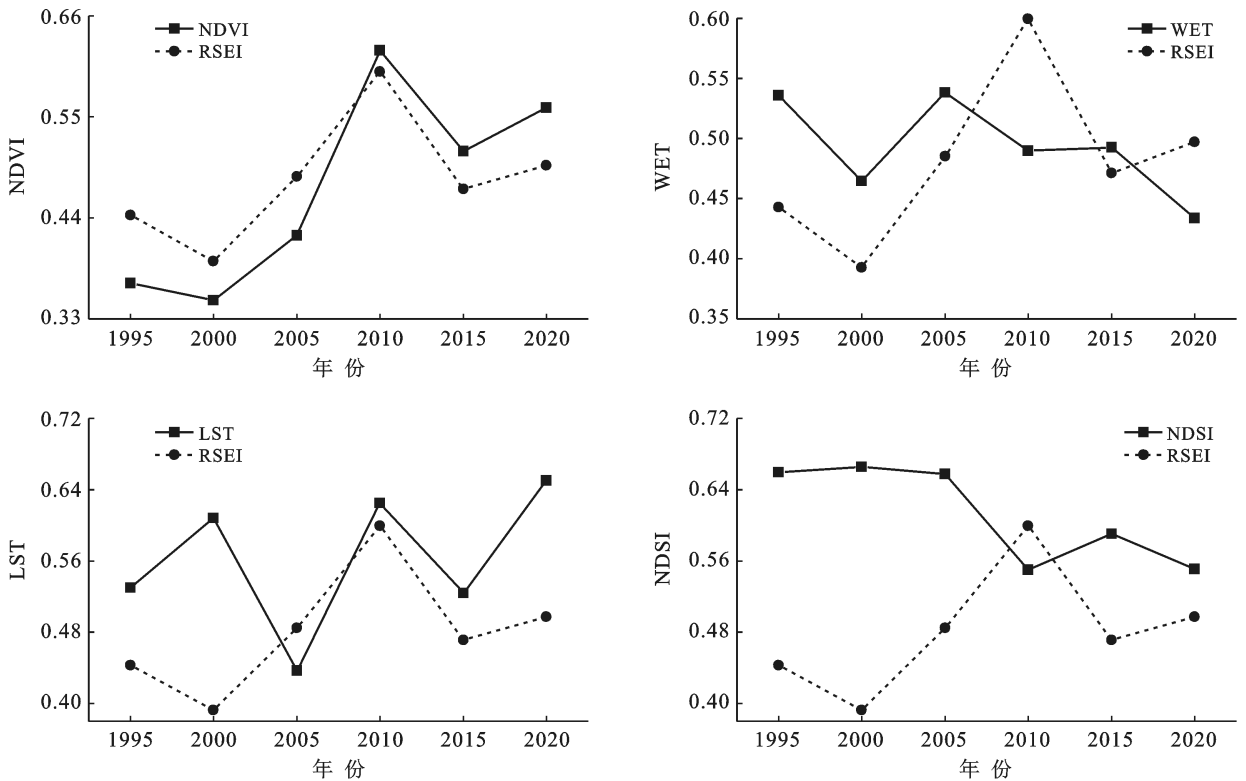
式中： \bar{X} 和 \bar{Y} 分别为重心经度、纬度； C_{ti} 是第 t 年第 i 个生态环境质量等级分区的面积； X_i, Y_i 分别为第 i 个生态环境质量斑块几何中心经纬度； n 为该种生态环境质量斑块总数。

2 结果与分析

2.1 神东矿区生态环境质量指标主成分分析

利用上述 RSEI 模型和 4 个分量模型的计算平均值(图 1),可分析神东矿区的生态环境质量变化过程:神东矿区 1995—2020 年的生态环境质量呈现出

下降—上升—下降—上升的变化趋势;其中,2000 年生态环境质量最低,较 1995 年生态环境质量下降 11%,2010 年生态环境质量最高,较 1995 年生态环境质量提高了 5.4%。各分量指标(归一化后)的平均值变化情况:1995—2020 年,绿度指标 NDVI 与 RSEI 的趋势成正比,总体上呈上升趋势;干度指标 NDSI 与 RSEI 的趋势成反比,总体上呈下降趋势;湿度指标 WET 呈现下降—上升—下降趋势,2000 年 WET 出现低值为 0.46,总体上呈下降趋势;热度指标 LST 呈现上升—下降—上升—下降—上升的波动趋势,2005 年 LST 最低值为 0.44,总体上呈上升趋势。在各指标变化中,WET 与 LST,NDVI 与 NDSI 变化趋势成反比。总的来说,神东矿区的生态环境质量主要与 NDVI,NDSI 指标相关,RSEI 变化虽有起伏,但波动范围仍保持在一般状态下,生态环境质量有所提升。



注:NDVI为绿度指标;RSEI为遥感生态指数;WET为湿度指标;LST为热度指标;NDSI为干度指标。下同。

图 1 1995—2020 年各生态环境质量指标均值和 RSEI 均值变化

利用 ArcGIS 10.4 在研究区内随机生成了 180 个点,提取各指标及 RSEI 的值。通过分析 1995—2020 年 NDVI,WET,NDSI 和 LST 与 RSEI 拟合(图 2)可以发现:拟合结果在 0.05 水平下,均显著不同于 0。NDVI,NDSI,LST 与 RSEI 的 R^2 值分别为 0.21, 0.29, 0.24, WET 与 RSEI 的 R^2 值为 0.02,说明 NDVI,NDSI,LST 是影响 RSEI 的主要指标。通过

对 NDVI,WET,NDSI 和 LST 的主成分分析,得到如表 1 所示结果。由表 1 可知,第 1 主成分的贡献率均达到 50%以上,表明 PC_1 已集中了 4 个指标的大部分特征。在 1995—2020 年, PC_1 的 NDVI 均为正值,WET 多为正值,说明 NDVI,WET 与 RSEI 变化呈正相关关系,LST 均为负值,NDSI 多为负值,说明 LST,NDSI 与 RSEI 变化呈负相关关系。相较 4 个

指标对神东矿区生态环境质量贡献率,NDVI,NDSI对神东矿区生态环境质量影响更大,表明植被生长分

布情况以及人类活动是研究区生态环境质量的直接影响因素。

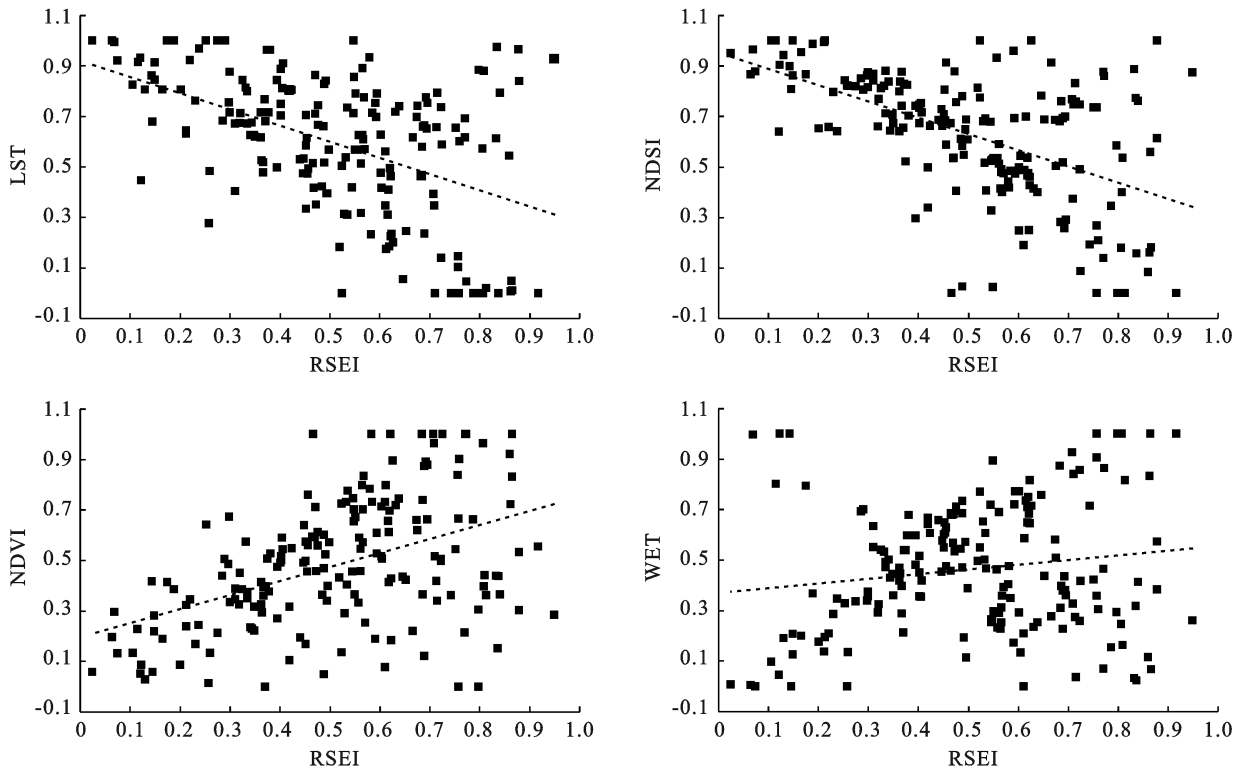


图2 各指标环境生态质量与RSEI拟合

表1 1995—2020年遥感生态指数的主成分分析

年份	主成分	NDVI	WET	NDSI	LST	特征值	特征值贡献率
1995	PC ₁	0.40	0.61	-0.41	-0.55	0.18	63.91
2000	PC ₁	0.39	0.58	-0.43	-0.57	0.16	59.66
2005	PC ₁	0.36	0.60	-0.39	-0.59	0.18	57.43
2010	PC ₁	0.40	0.46	0.76	-0.21	0.14	50.28
2015	PC ₁	0.38	-0.52	-0.61	-0.46	0.17	61.28
2020	PC ₁	0.57	-0.40	-0.69	-0.21	0.14	54.25

注:NDVI为绿度指标;RSEI为遥感生态指数;WET为湿度指标;LST为热度指标;NDSI为干度指标。下同。

2.2 神东矿区生态环境质量分级

经过归一化后的神东矿区RSEI数值范围在[0,1]之间,RSEI值越接近于1表示神东矿区生态环境质量越好,反之神东矿区生态环境质量则越差。根据神东矿区RSEI值的范围,选用前人分类标准,进一步将各年份的RSEI以0.2为间隔分成5级(图3),分别代表差、较差、中等、良和优5个等级,对应的等级编号分别为I(0~0.2),II(0.2~0.4),III(0.4~0.6),IV(0.6~0.8),V(0.8~1.0)。

通过RSEI分类图及统计不同等级面积所占矿区总面积的比例可知(图4),1995—2020年神东矿区的生态环境质量整体呈上升趋势,2010年生态环境质量最好,随后由于经济发展及人类活动生态环境质量有所下降,但整体上呈变好趋势。神东矿区生态环境质

量以“较差”和“中等”为主,合计平均占比为57%;“优”“良”级合计平均占比为31.80%，“差”级平均占比约为11.19%。

1995—2010年神东矿区的生态环境质量总体趋于稳定,并保持继续向生态环境质量好的方向发展,其中2010年生态环境状况最好,“中等”级面积变化幅度较小,相较于1995年的“良”、“优”等级之和2010年提升了33.77%。2010—2015年生态环境质量有所下降,2015—2020年生态环境质量有所提升。1995年生态环境质量为“差”和“较差”的面积分别占整个研究区域的14.45%和28.51%,而2020年分别为9.34%和21.60%，“差”、“较差”级面积明显下降,“中等”、“良”、“优”等级面积均有提升,相较于1995年提升了12.01%。

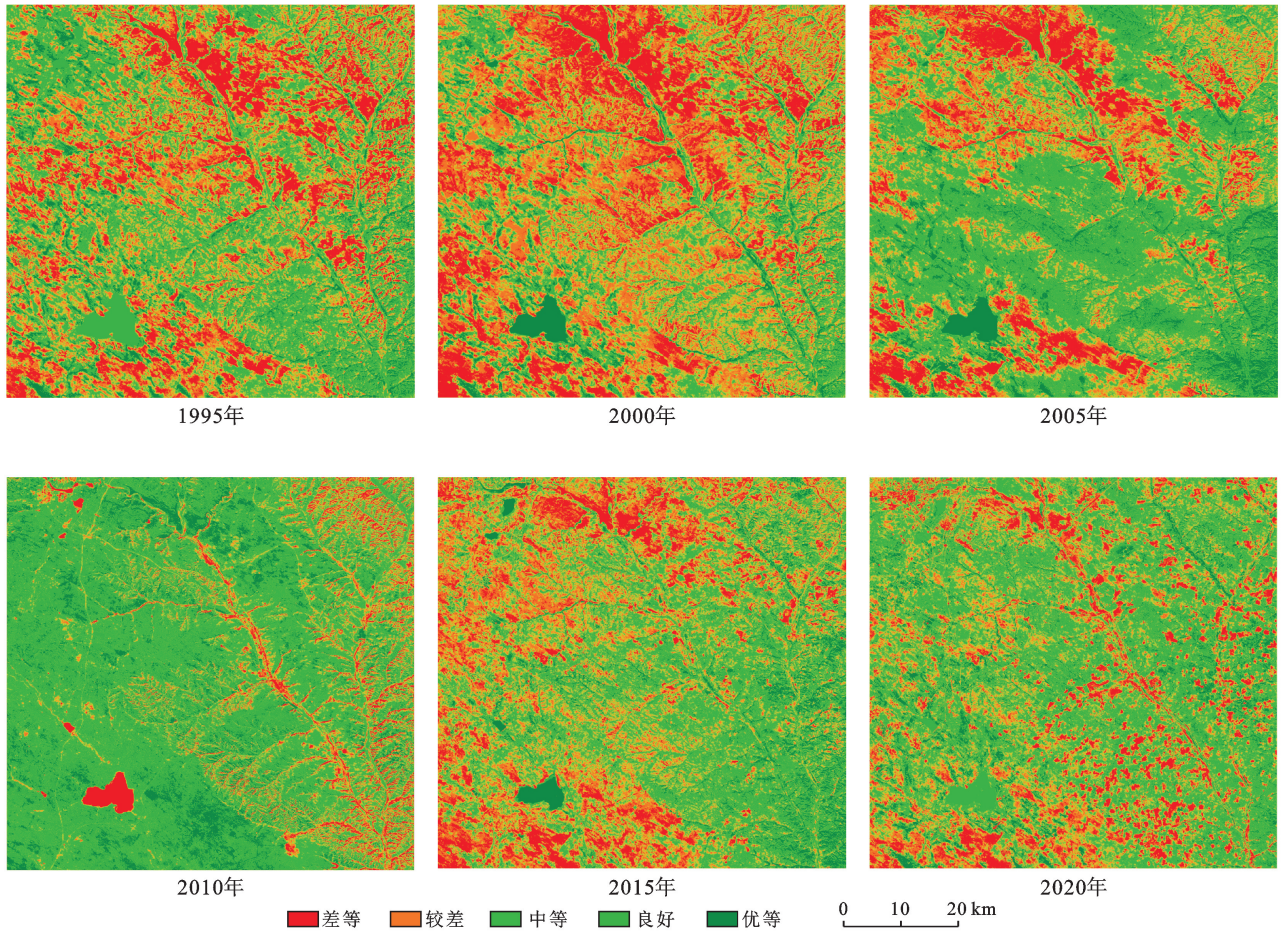


图 3 1995—2020 年神东矿区遥感生态指数 (RSEI) 等级分布

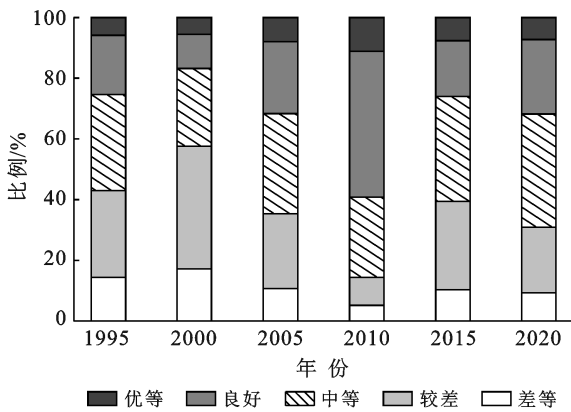


图 4 各级别土地面积占神东矿区总面积的比例

通过研究 1995—2020 年 RSEI I—V 等级的土地利用类型及转移矩阵(表 2)发现:1995—2020 年神东矿区生态环境质量各等级主要土地利用类型为草地、耕地。神东矿区生态环境质量整体上有上升趋势,且耕地、草地面积整体上也增加。说明神东矿区生态环境质量受耕地、草地面积变化影响较大。

在 1995—2020 年,西南方向土地类型为内陆湖泊,湖心有岛屿。按照模型因子,该地区主要评价指标为湿度指标(WET)和干度指标(NDSI)。通过主成分分析的结果可以看到 NDSI 在 2010 年贡献程度最大,且为正值,而在其他年份 NDSI 贡献程度较小,且为负值,故在 2010 年内陆湖泊质量相对最差。

表 2 1995—2020 年神东矿区土地利用类型转移矩阵

时段	草地	耕地	建设	林地	水域	未利用地
1995—2000 年	-2.580 1	3.049 5	-0.187 1	-0.109 7	0.010 3	0.183 0
2000—2005 年	0.483 7	-0.004 8	-0.992 0	-0.073 1	-0.475 9	-1.062 2
2005—2010 年	-0.033 8	0.084 6	-0.038 7	0.000 0	0.052 9	0.064 9
2010—2015 年	0.753 6	0.556 6	-1.807 6	0.034 8	-0.066 7	-0.529 2
2015—2020 年	0.319 6	-0.476 0	-0.662 0	-0.242 3	-0.140 8	-1.201 5

%

通过1995年与2020年生态环境质量等级转移变化分析,发现神东矿区生态环境质量变化的区域较为分散,生态环境质量变差的区域占总面积的23.09%,生态环境质量变好的区域占总面积的42.22%(图5),整体呈变好趋势。

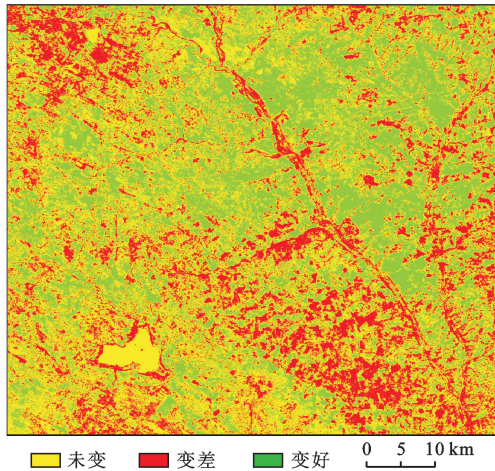


图5 1995—2020年神东生态质量变化特征

2.3 不同等级 RSEI 重心转移

通过分析1995—2020年神东矿区生态环境质量各等级重心迁移情况(图6)可知:神东矿区生态环境质量I—V级重心在伊金霍洛旗和神木县范围内进行迁移。在1995—2020年“差”、“较差”、“优”等级的重心转移年幅度较大,其他等级的重心移动幅度均较小。其中“差”等级的重心转移在2000—2015年迁移均值达到16.32 km;“较差”等级的重心转移在2005—2015年迁移均值达到11.13 km;“优”等级的重心转移在2005—2020年迁移均值达到14.02 km;其他等级的重心迁移均值为3.11 km。说明1995年—2020年,神东矿区不同生态环境质量等级的区域变化明显,波动范围较大。从5个等级的重心移动路径可以看出,“差”等级向西南方向偏移,“较差”、“中等”、“良”和“优”等级向西北方向偏移。

3 讨论

神东矿区作为中国重要的区域生态脆弱带和重点治理区,其生态环境质量的影响不言而喻。当前,对矿区生态环境质量评价多以综合指数法、层次分析等方法进行研究^[21-24],但就本研究区域而言,神东矿区是自然环境较多和人居较少的研究区,RSEI指数适用性比较强。而运用RSEI指数研究市县、流域、自然遗产、湿地等研究区较多^[25-27],对矿区研究较少。

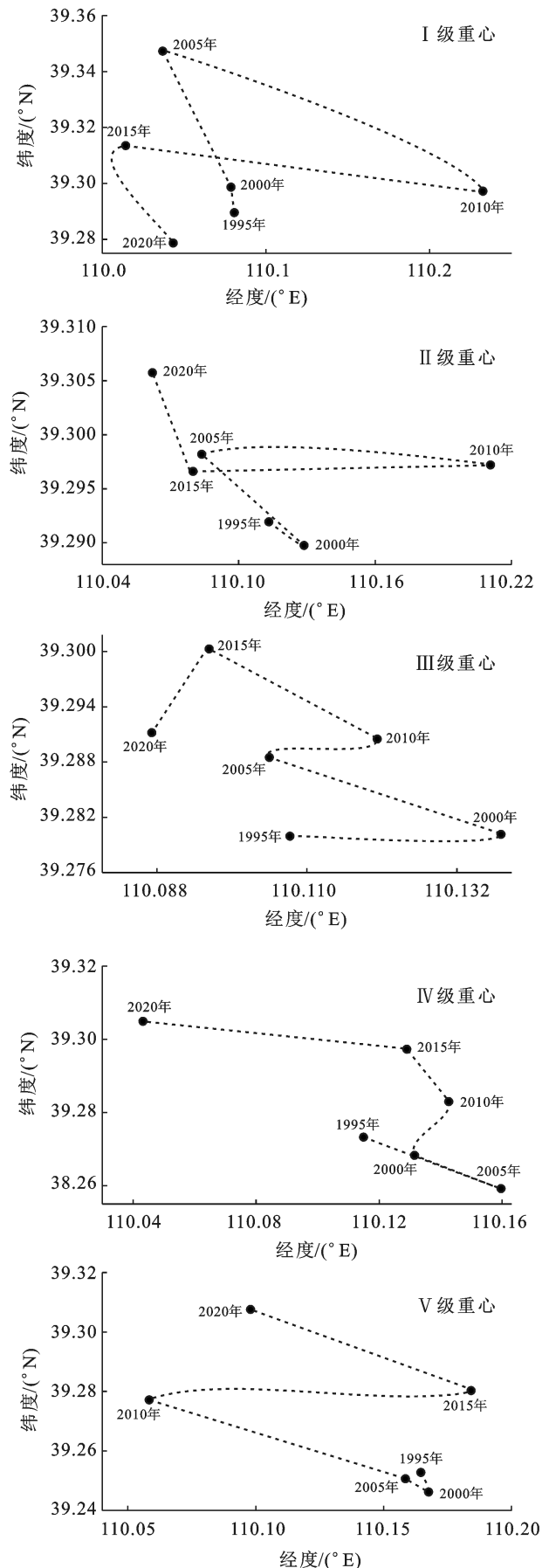


图6 1995—2020年神东矿区RSEI I—V级移动路径

已有文献^[28-29]运用 RSEI 指数对矿区生态环境质量变化进行研究,但是没考虑生态环境质量变化是具有空间区域性的,本文增加了生态环境质量在空间方面变化的研究;并在土地利用类型与生态环境质量变化上做了进一步的分析,对神东矿区生态环境质量变化做了更深的研究。岳辉等^[29]对神东矿区生态环境质量变化的研究,得出 1989—2015 年神东矿区的生态环境质量整体呈上升趋势。这与其研究结果综合可以得出,1989—2020 年神东矿区整体生态环境质量总体上呈向好发展的趋势。矿区生态环境质量与人类活动强度、绿色植被的关系比较密切,绿色植被生长情况主要决定了绿度指标的高低,干度指标很大程度受人为开发活动影响,在二者综合影响下决定了区域生态环境质量的总体水平。在矿区生态环境质量分级分析中,1995—2020 年各级土地利用类型均以草地、耕地为主,且与矿区生态环境质量总体变化趋势一致。Ⅱ级、Ⅲ级占矿区 50% 以上的面积,且迁移幅度较小,说明在生态环境质量治理过程中,大部分的区域生态环境质量得到了一定的维持,加大生态环境保护力度。Ⅰ级、Ⅳ级和Ⅴ级的生态环境质量迁移幅度较大,说明在较差的区域加大了生态环境的治理力度,导致较差较好的区域变化幅度较大。

在以后的研究中,可以丰富生态环境质量评价指标,对神东矿区生态环境质量变化的驱动因子进行细致的分析,以更细致的讨论神东矿区生态环境质量变化原因,为对神东矿区的生态环境的保护、治理提供依据。

4 结论

(1) 1995—2020 年神东矿区的生态环境质量总体呈变好趋势。绿度指标与神东矿区生态质量变化一致,干度指标与神东矿区生态质量变化相反,绿度指标是影响生态环境质量的主要原因,干度指标是影响生态环境质量的次要原因。

(2) 神东矿区生态环境质量变化较为分散,以Ⅱ级、Ⅲ级为主,其面积接近于研究区总面积的 57%。对比 1995 年矿区生态环境质量,2018 年变好的区域是研究区总面积的 42.22%,神东矿区生态环境质量有所提升。

(3) 在 1995—2020 年神东矿区生态环境质量各级土地利用类型均以草地、耕地为主,矿区生态环境质量与耕地、草地面积均呈现总体上升趋势。

(4) 神东矿区 RSEI Ⅰ—Ⅴ级的重心转移幅度较大等级有:Ⅰ级、Ⅳ级和Ⅴ级,迁移距离在 10~15 km 之间,说明处于该区域的神东矿区生态质量空间迁移

幅度较大。重心转移幅度较小的等级有Ⅱ级、Ⅲ级,迁移距离在 3 km 左右,说明处于该区域的神东矿区生态质量空间迁移幅度相对稳定。

[参 考 文 献]

- [1] 徐佳,王略,王义,等.2000—2017 年神东矿区植被 NDVI 时空动态[J].水土保持研究,2021,28(1):153-158.
- [2] 陆凤连,王新闯,张合兵,等.1980—2015 年焦作矿区景观格局演变及驱动力分析[J].水土保持研究,2018,25(4):237-243.
- [3] Sun Congjian, Li Xiaoming, Zhang Wenqiang, et al. Evolution of ecological security in the Tableland Region of the Chinese Loess Plateau using a remote-sensing-based index [J]. Sustainability, 2020,12(8):3489.
- [4] 叶有华,梁永贤,沈一青,等.《生态环境状况评价技术规范(试行)》中若干值得商榷的问题[J].热带地理,2009,29(4):404-406.
- [5] Chander G, Markham B L, Helder D L, Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors [J]. Remote Sensing of Environment, 2009,113(5):893-903.
- [6] 徐涵秋.城市遥感生态指数的创建及其应用[J].生态学报,2013,33(24):7853-7862.
- [7] 徐涵秋.区域生态环境变化的遥感评价指数[J].中国环境科学,2013,33(5):889-897.
- [8] 岳辉,毕丽丽.基于主成分分析的矿区微生物复垦生态效应评价[J].干旱区资源与环境,2017,31(4):113-117.
- [9] 李恒凯,刘玉婷,李芹,等.基于 MCR 模型的南方稀土矿区生态安全格局分析[J].地理科学,2020,40(6):989-998.
- [10] 付颖琪,王里奥,黄川,等.中国西北高原某金矿区环境承载力评价[J].矿业研究与开发,2019,39(6):141-149.
- [11] 王强民,孙洁,刘基,杨建.神府榆矿区地表水化学特征及水环境质量评价[J].干旱区资源与环境,2018,32(9):190-195.
- [12] 汪桂生,仇凯健.利用 MODIS NDVI 进行淮南矿区植被覆盖度动态监测[J].测绘通报,2018(6):34-40.
- [13] 谢金亮,张建锋,刘永兵,等.白云鄂博稀土伴生矿区土壤重金属污染及其环境评价[J].中国水土保持科学,2020,18(2):92-101.
- [14] 张银,陈诚,易齐涛,等.淮南矿区土地利用变化对区域景观格局的影响[J].地球环境学报,2019,10(5):503-513.
- [15] Crist E P. A TM Tasseled Cap equivalent transformation for reflectance factor data[J]. Remote Sensing of Environment, 1985,17(3):301-306.
- [16] Baig M, Zhang Lifu, Tong Shuai, et al. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance [J]. Remote Sensing Letters,

- 2014,5(5):423-431.
- [17] Goward S N, Xue Yongkang, Czajkowski K P. Evaluating land surface moisture conditions from the remotely sensed temperature/vegetation index measurements: An exploration with the simplified simple biosphere model[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002,79(2/3):225-242.
- [18] Kamran K V, Pirnazar M, Bansouleh V F. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS: Comparison between split window algorithm and SEBAL method[C]// *Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment*, Paphos, Cyprus, 2015.
- [19] Rikimaru A, Roy P S, Miyatake S. Tropical forest cover density mapping [J]. *Tropical Ecology*, 2002,43(1):39-47.
- [20] Xu H. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2008,29(14):4269-4276.
- [21] 张乃明,陈冬花,邢菲,等.基于遥感生态指数的新疆干旱区博乐市生态变化分析 [J].*水土保持通报*,2019,39(1):154-159,166.
- [22] 高忠咏,高原.青海格尔木市矿区生态环境综合评价及其影响研究[J].*世界有色金属*,2018(15):271,274.
- [23] 王丽春,焦黎,来风兵,等.基于遥感生态指数的新疆玛纳斯湖湿地生态变化评价[J].*生态学报*,2019,39(8):2963-2972.
- [24] 高鹏文,阿里木江·卡斯木,图尔荪阿依·如孜,等.哈密市生态环境效益时空分析[J].*干旱区研究*,2020,37(4):1057-1067.
- [25] Liu Qin, Yang Zhaoping, Han Fang, et al. Ecological environment assessment in world natural heritage site based on remote-sensing data: A case study from the Bayinbuluke [J]. *Sustainability*, 2019,11(22):6385.
- [26] Gao Pengwen, Kasimu A, Zhao Yongyu, et al. Evaluation of the temporal and spatial changes of ecological quality in the Hami Oasis based on RSEI [J]. *Sustainability*, 2020,12(18):7716.
- [27] Wen Xiaole, Ming Yanli, Gao Yonggang, et al. Dynamic monitoring and analysis of ecological quality of Pingtan Comprehensive Experimental Zone, a new type of sea island city, based on RSEI [J]. *Sustainability*, 2019,12(1):21.
- [28] Xu Hanqiu, Wang Yifan, Guan Huade, et al. Detecting ecological changes with a remote sensing based ecological index (RSEI) produced time series and change vector analysis [J]. *Remote Sensing*, 2019,11(20):2345.
- [29] 岳辉,刘英,朱蓉.基于遥感生态指数的神东矿区生态环境变化监测[J].*水土保持通报*,2019,39(2):101-107,114.

(上接第142页)

- [5] 王民,李占斌,崔灵周,等.大理河流域地貌多重分形特征空间分异研究[J].*水土保持研究*,2017,24(5):178-181,188.
- [6] 朱永清,李占斌,鲁克新,等.地貌形态特征分形信息维数与像元尺度关系研究[J].*水利学报*,2005,36(3):333-338.
- [7] 夏积德,江仕荣,周波.渭河干流杨凌段水边线提取及其分维数计算方法研究[J].*水资源与水工程学报*,2019,30(6):45-49.
- [8] 何隆华,赵宏.水系的分形维数及其含义[J].*地理科学*,1996,16(2):124-128.
- [9] Grassberger P. Generalized dimensions of strange attractors [J]. *Physics Letters A*,1983,97(6):227-230.
- [10] Halsey T C, Jensen M H, Kadanoff L P, et al. Fractal measures and their singularities: The characterization of strange sets [J]. *Nuclear Physics B-Proceedings Supplements*, 1987,2:501-511.
- [11] Hentschel H G E, Procaccia I. The infinite number of generalized dimensions of fractals and strange attractors [J]. *Physica (D): Nonlinear Phenomena*, 1983,8(3):435-444.
- [12] 曹建军,方炫,那嘉明,等.基于多重分形的黄土高原不同地貌类型区沟沿线起伏特征研究[J].*地理与地理信息科学*,2017,33(4):51-56.
- [13] 彭松.基于小波变换的期货市场多重分形谱研究[D].安徽 合肥:安徽大学,2010.
- [14] Chhabra A, Jensen R V. Direct determination of the $f(\alpha)$ singularity spectrum [J]. *Physical Review Letters*, 1989,62(12):1327-1330.
- [15] 范雪霜,孙强,吕深圳,等.人体甲状腺动态红外图像多重分形分析[J].*红外与激光工程*,2019,48(4):309-318.
- [16] 鲁克新,王民,李占斌,等.岔巴沟流域三维地貌多重分形特征量化[J].*农业工程学报*,2012,28(18):248-254.
- [17] 郑伟,张鑫,童亚文,等.地貌发育阶段判识方法研究:以泥河沟流域和枣子沟流域为例[J].*西北林学院学报*,2020,35(2):197-201,228.